

04:07

## **Индуктивный высокочастотный разряд низкого давления в смеси инертных газов и галогенов для экономичных безртутных люминесцентных источников света**

© А.П. Головицкий

С.-Петербургский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 26 ноября 1997 г.

Продемонстрирована возможность использования индуктивного высокочастотного (ВЧ) разряда в смеси  $\text{Xe} + \text{Cl}_2$  как активной среды эффективного люминесцентного источника света, не содержащего ртути.

Недавние исследования тлеющего разряда постоянного тока в смесях инертных газов и галогенов как источника ультрафиолетового (УФ) излучения показали, что эти источники (эксилампы) по энергетическим показателям (выходная мощность УФ излучения до сотен ватт и к.п.д. до 25–30% [1–5]) вполне конкурентоспособны с ртутными лампами. Основным преимуществом эксиламп является их экологическая чистота, связанная с отсутствием токсичной ртути; содержание же в них галогена является ничтожно малым. Но основную нагрузку на окружающую среду дают все же не ртутные источники УФ излучения, выпускаемые для промышленных и научных целей малыми сериями, а осветительные люминесцентные лампы, выпускаемые миллионами штук. Было бы интересным выяснить эффективность использования смесей инертных газов и галогенов вместо обычной смеси ртуть–аргон в компактных люминесцентных источниках света.

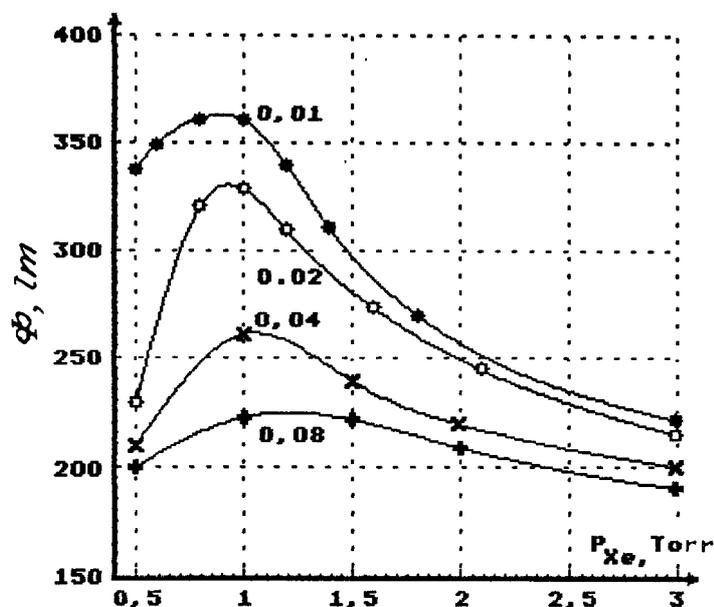
Главными проблемами при реализации эксиламп постоянного тока остаются их низкая долговечность [4], вызванная химическим связыванием галогена материалами электродов, в первую очередь катода [3], и наличие высокого напряжения (2–7 кВ), требуемого для поддержания разряда. Решением этих проблем мог бы явиться переход к безэлектродному ВЧ разряду, причем желательно, чтобы плазма разряда не контактировала со стенками прибора, ибо в безэлектродном разряде в

хлорсодержащих средах долговечность определяется диффузией хлора в стекле, которая возрастает с ростом температуры стекла [6,7].

Подходящим в этом смысле является индуктивный способ возбуждения ВЧ разряда, который, впрочем, уже предлагалось использовать в эксимерных УФ источниках [10], а также в ртутных люминесцентных лампах [8,9].

Экспериментальный прибор, использовавшийся в данной работе, представлял собой открытый с одного конца сосуд из стекла С52-2 с двойными стенками, фактически — стакан Дьюара. Как внешние, так и внутренние стенки сосуда имели цилиндрическую форму, а дно — близкую к полусферической; расстояние между внешней и внутренней стенками всюду составляло  $\approx 10$  mm. Диаметр прибора составлял 50 mm, а высота — 80 mm. Вся внутренняя поверхность покрывалась тонким слоем люминофора, используемого в люминесцентных лампах типа ЛДС. Прибор заполнялся смесями ксенона и хлора технической чистоты. Цилиндрическая однослойная индукционная катушка помещалась во внутреннюю полость сосуда, как и в [9]. Возбуждение разряда осуществлялось транзисторным генератором по схеме резонанса напряжений на частоте 13.56 MHz; применение высоковольтных транзисторов позволило осуществить питание непосредственно от сети 220 V. Габариты прибора в целом соответствовали габаритам обычной лампы накаливания; прибор вворачивался в обычный ламповый патрон Е27. Потребление энергии от сети во всех режимах разряда составляло около 9 W. Для контроля за формой разряда и интенсивностью УФ излучения был изготовлен и второй сосуд — из увиолевого стекла, по размерам аналогичный первому и наполнявшийся такой же смесью. Генератор мог переставляться для возбуждения как одного, так и другого прибора. Спектры излучения снимались при помощи дифракционного спектрографа СДМС, оснащенного фотоумножителем ФЭУ-106 и прокалиброванного в абсолютной мере при помощи вольфрамовой (СИ10-300) и дейтериевой (ДДС-30) светоизмерительных ламп; сигнал с ФЭУ регистрировался компьютером. Интенсивность излучения люминесцентной лампы затем пересчитывалась в обычные световые единицы — люмены.

При заполнении прибора чистым ксеноном (давление — до 15 Torr) наблюдался Н-типа разряда [9,11]: разряд горел в виде параллельного виткам катушки кольца в центральной части прибора. Добавление хлора приводило к размытию этого кольца; если при этом давление



Зависимость светового потока от парциального давления ксенона. Значения парциального давления хлора показаны цифрами у кривых (в Torr).

Хе не превышало 3 Torr, то разряд почти равномерно заполнял всю внутреннюю область сосуда, включая дно, по-видимому представляя собой *E*-тип. При этом плазма отстояла от стенок на расстояние около 1 mm, а излучение ВЧ поля наружу практически экранировалось плазмой. Последнее составляет преимущество перед возбуждением разряда внешним индуктором [10], к тому же витки катушки не загораживают свечение прибора.

Предварительные исследования были проделаны с сосудами различной формы; они показали, что описанная выше форма сосуда обеспечивает лучшую светоотдачу для разряда в Хе + Cl<sub>2</sub>, чем грушевидная, предлагавшаяся ранее для ртутных ламп [9].

Светоотдача при работе в чистом ксеноне не превышала нескольких lm/W. Зависимость величины светового потока люминесцентной лампы от парциальных давлений напуска ксенона и хлора приведена

на рисунке. Из исследованных в данной работе смесей оптимальной оказалась смесь состава 0.9 Torr Хе и 0.01 Torr Cl<sub>2</sub>, при этом полный световой поток достиг 360 lm (приблизительно соответствует световому потоку от 30 W лампы накаливания) при мощности, потребляемой генератором от сети 9 W; светоотдача лампы составила около 40 lm/W. Хотя это значение ниже, чем у современных компактных "экономичных" люминесцентных ламп (60–80 lm/W), но значительно выше, чем у ламп накаливания, что позволяет считать данную лампу также экономичной. Из рисунка видно, что при парциальных давлениях хлора менее 0.01 Torr светоотдача могла бы быть и выше, но использованная в данной работе установка, к сожалению, не позволяла точно дозировать давления ниже 0.01 Torr.

Дальнейшая оптимизация подобной лампы должна заключаться в тщательном подборе смеси газов наряду с оптимизацией ВЧ генератора и профессиональной технологией нанесения люминофора. Целесообразным явилось бы исследование в подобных лампах смесей Хе + Br<sub>2</sub>, Хе + I<sub>2</sub> и Kr + Cl<sub>2</sub>, спектры УФ излучения которых с максимумами на 282, 253 и 222 nm лучше соответствуют спектру поглощения люминофора (оптимальному для излучения ртути), чем спектр исследованной смеси Хе + Cl<sub>2</sub> с максимумом излучения около 308 nm [1].

Итак, в данной работе продемонстрирована возможность реализации экономичных компактных безртутных люминесцентных источников света на индуктивном ВЧ разряде в смесях инертных газов и галогенов.

## Список литературы

- [1] Головицкий А.П., Кан С.Н. // Опт. и спектр. 1993. Т. 75. В. 3. С. 604–609.
- [2] Головицкий А.П., Лебедев С.В. // Опт. и спектр. 1997. Т. 82. В. 2. С. 251–255.
- [3] Schwabedissen A., Böttcher W. // Contrib. Plasma Phys. 1995. V. 35. N 4. P. 517–535.
- [4] Tarasenko V.F., Lomaev M.I., Panchenko A.N., Sosnin E.A. // Proc. XII Int. Conf. on Gas Discharges and their Applications. Greifswald, Germany, 1997. V. 11. P. 464–466.
- [5] Панченко А.Н., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 20. С. 77–80.
- [6] Светцов В.И., Куприяновская А.П., Марышев А.Б. // ЖПС. 1981. Т. 35. В. 2. С. 205–208.

- [7] Светцов В.И., Максимов А.И., Куприяновская А.П., Зимица И.Д. // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1977. № 7. С. 36–39.
- [8] Юшков А.П. // Светотехника. 1984. № 2. С. 23–26.
- [9] Троцкий А.М., Юшков А.П. // Светотехника. 1984. № 11. С. 6–7.
- [10] Barnes P.N., Kushner M.J. // J. Appl. Phys. 1996. V. 80. N 10. P. 5593–5597.
- [11] Korsthagen U., Gibson N.D., Lawler J.E. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1996. V. 29. N 5. P. 1224–1236.